電気技術規程
原 子 力 編

原子力発電所運転責任者の判定に係る シミュレータ規程（案）

JEAC 4805 – 201X

公表資料

一般社団法人 日本電気協会
原 子 力 規 格 委 員 会

原子力発電所運転責任者の判定に係るシミュレータ規程

目　次

1. 目的 1

2. 適用範囲 1

3. 用語の定義 1

4. シミュレータの要求事項 2

4.1 一般要件 2

4.2 シミュレーションの限界 2

4.3 プラント運転の模擬 2

4.4 シミュレータ設備の模擬範囲 5

4.5 インストラクタコンソールの機能 6

5. シミュレータの性能試験 7

5.1 シミュレータの動作試験 7

5.2 シミュレータのシナリオベース試験 8

5.3 シミュレータの炉心性能（特性）試験 8

6. シミュレータの維持管理 9

6.1 シミュレータの設計データ 9

6.2 シミュレーション範囲の見直し 9

6.3 ソフトウェア及びハードウェアの維持管理 9

7. 参考文献 10

附属書A（参考）シミュレータの設計及び性能試験を文書化する際のガイドライン 12

附属書B（参考）マルファンクションの例 14

附属書C（参考）シミュレータの動作試験の実施に関するガイドライン 16

附属書D（参考）シミュレータ定常状態の許容誤差計算値の例 23

附属書E（参考）シミュレータの基本機能及び維持管理について 25

解説 27

原子力規制委員会

1. 目的

本規程は，原子力発電所の中央制御室を模擬したフルスコープシミュレータ（以下，「シミュレータ」という。）に備えるべき要求事項を具体的に定めることを目的とする。

2. 適用範囲

本規程は，シミュレータ訓練機関が実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則（昭和 53 年通商産業省令第 77 号）（以下，「実用炉規則」という。）第 87 条第 4 号における運転責任者の適合性判定に使用するシミュレータに適用する。

なお，発電用原子炉設置者訓練施設が教育・訓練のために使用するシミュレータについても，本規程を準用することが望ましい。

3. 用語の定義

本規程で用いる主な用語の定義は，以下に示すとおりである。

a） **フルスコープシミュレータ**　モデルプラントの中央制御室と同等の監視・操作を可能とし，制御盤・制御室環境も同等に再現したものをいう。なお，手順確認，事象理解，基本操作学習に必要な機能だけを備えた模擬範囲の狭い，ワークステーションシミュレータ，パソコンシミュレータ等はこれに含まない。

b） **運転責任者**　実用炉規則第87条第3号の規定により，発電用原子炉の運転に必要な知識・技能及び経験を有している者であって，かつ，運転責任者に係る基準に適合した者の中から発電用原子炉設置者が選任した者をいう。

c） **運転訓練センタ**　株式会社 BWR 運転訓練センター又は株式会社原子力発電訓練センターをいう。

d） **発電用原子炉設置者訓練施設**　発電用原子炉設置者が有するシミュレータ及びそれに付属した教室等から構成される施設並びに運営組織をいう。

e） **シミュレータ訓練機関**　運転訓練センタ及び発電用原子炉設置者訓練施設で，「JEAC 4804-201X 原子力発電所運転責任者の判定に係る規程」で定める運転実技試験及びその判定，並びに更新のための教育・訓練及びその修了確認を行うものをいう。

f） **モデルプラント**　シミュレータの中央制御室構成，系統制御装置の配置及びシミュレータの設計データベースの基になる特定の原子力発電プラントをいう。

g） **運転操作手順書**　モデルプラントの通常時の運転，異常時の運転，サーベイランス試験及び警報発生時の運転を規定した手順書をいう。

h） **初期状態**　シミュレーションを開始する時のプラント状態及び炉心状態をいう。

i） **最適予測値**　特定の条件でのモデルプラントの応答を，対象分野の専門家がエンジニアリング的な評価手法や運転評価手法によって得た予測データをいう。

j） **計算値**　シミュレータの数学的モデルによって計算された，モデルプラントの系統又は機器の状態を表すパラメータの値をいう。

k） **設計データベース**　シミュレータのハードウェアとソフトウェアを設計するための根拠となるデータをいう。

l） **実時間**　シミュレータが，モデルプラントの動的な応答（シーケンス，維持時間，速度，加速度等）

を同じ時間基準で模擬できる様をいう。

m） **顕著な相違**　明確に識別可能で，対象分野の専門家であれば正確に特定することができる，シミュレータとモデルプラントとの物理的特性や応答の相違をいう。

n） **性能試験**　モデルプラントの実際の応答又は予測される応答と比較して，シミュレータの性能を検証するための試験をいう。

o） **再現性**　同じシミュレーション条件で連続して動的性能の試験を行った場合，シミュレータが本規程の求める制限範囲内で同じ結果を出すことができる性能をいう。

p） **マルファンクション**　シミュレータにおいて，インストラクタの操作により原子力発電所の性能低下や系統又は機器の故障を模擬する機能をいう。

q） **対象分野の専門家**　特定の分野において評価や勧告を行うことができる，適切な教育，経験又は資格を有する者をいう。

4. シミュレータの要求事項

4.1　一般要件

a） シミュレータは，モデルプラントを基に設計すること。

b） シミュレータは，プラント応答を実時間で連続的に実行できること。また，再現性があること。

c） シミュレータは，モデルプラントの応答時間，シーケンスと顕著な相違が生じないこと。

d） シミュレータは，運転員の操作，機器の誤作動，自動制御，プラント固有の運転特性などから生じる応答の現実的な特性を再現すること。

e） シミュレータは，モデルプラントの運転操作手順書を使用して同じ操作ができること。

f） シミュレータは，プラントの状態が安定するまで「4.3.2 通常時の運転」で要求している運転を模擬できること。

g） シミュレータは，「4.3.3 異常時の運転」で要求している運転を模擬できること。

h） 重大事故に係る運転実技試験及び更新のための教育・訓練を実施するシミュレータは，通常の運転から炉心損傷，原子炉圧力容器破損、格納容器破損までを模擬できること。

4.2 シミュレーションの限界

シミュレーション可能な範囲を以下に示す機械的又は管理的手段で明確化すること。

・「機械的手段」・・・シミュレーションモデルのパラメータが，シミュレーション範囲を超えた場合，自動的にインストラクタに注意を促す機能

・「管理的手段」・・・シミュレーション可能な範囲を予めインストラクタに提示する等の運用管理上の手段

4.3 プラント運転の模擬

4.3.1 定常状態

a)　定常状態での異なる3点の出力（例えば，50%出力，75%出力，100%出力の3点）で，シミュレータとモデルプラントのパラメータが許容誤差内であることを確認する。上下限2点の出力差は50%以上であること。ただし，モデルプラント試験記録の上下限2点の出力差が数%不足している場合も許容する。

b)　a)項の確認において，モデルプラントが営業運転開始前の場合は，シミュレータとモデルプラント設計データとの比較にてこれに代える。

c) a)項の出力は，連続運転によって達成すること。

d) a)項で比較するパラメータは，「4.3.1.1 PWR シミュレータ許容誤差」及び「4.3.1.2 BWR シミュレータ許容誤差」に規定するパラメータとする。

e) a)項の確認において，シミュレータとモデルプラントのパラメータを比較する場合は，「4.3.1.1 PWR シミュレータ許容誤差」又は「4.3.1.2 BWR シミュレータ許容誤差」に規定するシミュレータ許容精度にモデルプラントの計器ループ精度を加えたものを判定値とすることができる。計器ループ精度を考慮した場合の判定値の計算例を附属書 D に示す。

f) シミュレータに使う計器の精度は，モデルプラントの計器精度を超えないものとする。

4.3.1.1 PWR シミュレータ許容誤差

a) 以下のパラメータは，定常状態において，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値が計器レンジの 1%以内で一致していること。

- 1 次冷却材平均温度(Tavg)
- 1 次冷却材高温側温度(Thot)
- 1 次冷却材低温側温度(Tcold)
- 原子炉熱出力
- 出力領域中性子束
- 加圧器圧力
- 主蒸気圧力
- 加圧器水位

b) 以下のパラメータは，定常状態において，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値が計器レンジの 2%以内で一致していること。

- SG 熱出力
- 1 次冷却材圧力
- 1 次冷却材流量
- 主蒸気流量
- 蒸気発生器給水流量
- 蒸気発生器水位
- タービン第1段圧力(タービン第 1 段後圧力)
- 発電機出力

c) a), b)以外の主要なパラメータは，定常状態において，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値が計器レンジの 10%以内で一致していること。主要なパラメータの例を附属書 C.2.1 c)に示す。

4.3.1.2 BWR シミュレータ許容誤差

a) 以下のパラメータは，定常状態において，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値が計器レンジの 1%以内で一致していること。

- 原子炉熱出力
- 原子炉圧力（狭帯域）
- 原子炉圧力（広帯域）

公表前

・炉心流量

b) 以下のパラメータは，定常状態において，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値が計器レンジの 2%以内で一致していること。

・平均出力領域モニタ(APRM)
・給水温度（給水加熱器最終段後）
・主蒸気流量
・再循環ループ流量
・給水流量
・タービン蒸気流量
・復水器真空度
・ジェットポンプ流量（校正値）
・原子炉水位（狭帯域）
・発電機出力

c) a), b)以外の主要なパラメータは，定常状態において，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値が計器レンジの 10%以内で一致していること。主要なパラメータの例を附属書 C.3.1 c)に示す。

4.3.2 通常時の運転

a) シミュレータが模擬する通常時の運転は，以下のとおりとする。

1) 低温停止状態から定格出力状態までのプラント起動
2) 定格出力状態から低温停止状態までのプラント停止
3) 出力制御と負荷変動

b) シミュレータは，通常時の運転において，シミュレーションモデルを変更せずに連続的に模擬できること。

c) シミュレータは，運転状態に対応した系統パラメータを演算し，これらのパラメータを適切な計器上又はモニタ上に表示させ，警報やインターロックを作動させること。

4.3.3 異常時の運転

a) シミュレータが模擬する異常時の運転は，以下のとおりとする。

1) 運転時の異常な過渡変化
2) 設計基準事故
3) 重大事故 a)項は，単一又は複数個のマルファンクションを同時又は逐次に投入する等，任意の組み合わせにより模擬できること。

b) マルファンクションは，運転実技試験及び更新のための教育・訓練を実施するために十分なものとする。マルファンクションの例を附属書 B に示す。

c) マルファンクション投入に伴う特徴的なパラメータの応答は，モデルプラントの実際の応答又は最適予測値に対応していること。

d) 同じ状況でモデルプラントが警報又は自動動作を行うような場合に，シミュレータが警報又は自動動作を行うこと。

e) 同じ状況でモデルプラントが警報又は自動動作を行わないような場合に，シミュレータが警報又は自動動作を行わないこと。

原子力規制委員会 承認

f) モデルプラントで潜在的に起こりうる範囲で，マルファンクションの過酷度（例えば漏えい量や故障台数など）が調整可能なこと。

g) シミュレータは，マルファンクション投入による異常状態からの復旧又は影響を軽減するために行う運転操作を模擬できること。

h) シミュレータは，マルファンクション投入後，運転操作により低温停止状態又はシミュレータの限界に達するまで模擬できること。

4.4 シミュレータ設備の模擬範囲

4.4.1 中央制御室制御盤の模擬範囲

a） 中央制御室制御盤及び計器・操作器・警報装置は，「4.3.2 通常時の運転」及び「4.3.3 異常時の運転」に対応できること。

b） 中央制御室制御盤及び計器・操作器・警報装置は，モデルプラントの大きさ，形状，色，構成を模擬すること。ただし，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響しない軽微な相違は許容する。

c） 運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響しない場合は，制御盤の一部を画面表示，タッチパネル等で代替することを可能とする。画面表示，タッチパネル等で代替した場合，運転操作手順書に従い，モデルプラントと同等の操作が可能であること。

4.4.2 計器，操作器，警報装置

a) 中央制御室制御盤には，以下の機器を設置する。

- 操作器
- 制御器
- 指示計
- 記録計
- ミミック
- 表示灯
- 警報装置
- 銘板
- ディスプレイシステム

b) a)項の機器は，モデルプラントの大きさ，形状，色，構成，動的機能を再現していること。

c) 中央制御室制御盤に存在するが，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に運転員が使用しない機器については，外観だけの模擬であってもよい。

d) 情報は，モデルプラントの中央制御室と同じ様式及び単位系で運転員に表示されること。

e) a)項について，モデルプラントとの軽微な相違は許容する。ただし，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響しないものであること。

4.4.3 中央制御室の環境

a) モデルプラント中央制御室の環境を，以下の項目について模擬する。

- 制御盤配置
- 照明

公表資料

・通信システム
・指令机，操作机

b) a)項について，モデルプラントとの軽微な相違は許容する。ただし，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響しないものであること。

4.4.4 シミュレーション対象系統と模擬の程度

a) 中央制御室で監視又は操作する系統は，以下に適合していること。
   1) 通常時の運転及び異常時の運転を実行するために必要な系統が模擬されていること。
   2) 各系統間の相互作用も模擬し，全体として統合された動きをすること。
   3) 現場操作が必要な系統は，インストラクタの代行実施等で模擬できること。

b) a)項について，モデルプラントとの軽微な相違は許容する。ただし，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響しないものであること。

4.5 インストラクタコンソールの機能

4.5.1 初期状態の設定

a） 登録可能なシミュレータの初期状態の数は，「4.3.2 通常時の運転」，「4.3.3 異常時の運転」に定められた運転状態を模擬するために十分なものであること。

b） 運転実技試験及び更新のための教育・訓練に必要な初期状態を設定できること。

4.5.2 マルファンクションの実行

a） インストラクタコンソールは，「4.3.3 異常時の運転」で定められたマルファンクションを実行できること。

b） マルファンクションは，単一又は複数個のマルファンクションを任意に投入できること。また，マルファンクションは，任意に終了できること。

c） マルファンクションは，指定した条件(警報発生，操作器操作等)，指定した時間に実行できる機能を設けること。

d） 必要に応じて別のマルファンクションを追加及び実行できる機能を設けること。

e） マルファンクションを実行したことが，運転員に判るようになっていないこと。ただし，マルファンクション実行によるモデルプラントに現れる徴候は除く。

4.5.3 現場操作

a） シミュレータは，「4.3.2 通常時の運転」及び「4.3.3 異常時の運転」に対応する現場操作を実施するため，中央制御室外での現場操作を模擬できる機能を設けること。以下に，現場操作の例を示す。
   1） 弁開度の状態変更
   2） 遮断器開閉状態の状態変更
   3） 現場で操作される機器の状態変更

b） 複数ユニットを持つプラントを模擬した場合，インストラクタはモデルプラントの運転操作に影響を与える他ユニットとの共用設備（蒸気・空気・電力等）をコントロールできること。

c） インストラクタの現場操作により，現場操作したことが運転員に判るようになっていないこと。ただし，現場操作によりシミュレータに現れる徴候は除く。

5. シミュレータの性能試験

a） シミュレータの性能試験は，「5.1 シミュレータの動作試験」，「5.2 シミュレータのシナリオベース試験」及び「5.3 シミュレータの炉心性能（特性）試験」で構成する。

b） シミュレータの性能試験は，ソフトウェアの新規製作，改造及びシミュレータ機能に影響を及ぼす可能性のある変更が行われた場合に実施すること。ただし，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響を及ぼさない軽微な改造・変更は除く。

c） シミュレータの性能試験は，連続した運転状態で実施すること。

d） シミュレータの性能試験の実施に関する記録を維持すること。

e） シミュレータの性能試験において，シミュレーション対象系統がモデルプラントの系統と比べて顕著な相違がないことを確かめること。

5.1 シミュレータの動作試験

全体的なシミュレータモデルの完成度と統合性を確認するために，以下のシミュレータの動作試験を実施する。シミュレータの動作試験の実施に関するガイドラインを附属書Cに示す。

a） 定常状態

1) 「4.3.1 定常状態」に規定する3点の定常状態において，シミュレータの定常状態試験を実施する。

2) シミュレータは，定常状態試験において「4.3.1.1 PWR シミュレータ許容誤差」及び「4.3.1.2 BWR シミュレータ許容誤差」の要件を満足すること。

b） 通常時の運転

1) 以下の通常時の運転において，シミュレータの動作試験を実施する。

- 低温停止状態から定格出力状態までのプラント起動
- 定格出力状態から低温停止状態までのプラント停止
- 出力制御と負荷変動

2) 通常時の運転試験の評価は，以下により実施する。

- モデルプラントの通常時運転手順書に従って操作できること。
- 特徴的なパラメータの応答が，モデルプラントの実際の応答又は最適予測値に対応していること。
- 同じ状況でモデルプラントが警報又は自動動作を行うような場合に，シミュレータが警報又は自動動作を行うこと。
- 同じ状況でモデルプラントが警報又は自動動作を行わないような場合に，シミュレータが警報又は自動動作を行わないこと。

3) 通常時の運転試験の評価には，以下の各項目を記載する。

- 初期状態
- モデルプラントの通常時運転手順書に従って操作できること。
- シミュレータがモデルプラント応答を模擬できる，又は試験目的・訓練目的に適合していること。
- チェックした主要パラメータの一覧及び同パラメータに予想外の変化がないこと。
- 発生した主要警報と主要インターロックの一覧及び予想外の警報やインターロックが動作しないこと。

原子力規制委員会 審議用

c） 異常時の運転

「4.3.3 異常時の運転」に規定する以下の運転は，「5.2 シミュレータのシナリオベース試験」で確認する。

1) 運転時の異常な過渡変化
2) 設計基準事故
3) 重大事故

5.2 シミュレータのシナリオベース試験

シミュレータがモデルプラントの応答を模擬できることを，以下のシナリオベース試験により確認する。なお，本試験は，単一又は複数個のマルファンクション，対応操作等を統合，かつ，一貫して確認するシミュレータの全体性能試験である。

a） シナリオベース試験を実施するシナリオ

1) 運転責任者判定に係る運転実技試験のシナリオ
2) 更新のための教育・訓練のシナリオ

b） シミュレータは，a)のシナリオに基づく，インストラクタの対応，運転員の操作，事象の兆候を適切に模擬していること。

c） マルファンクション，運転員の操作及びシナリオを評価するために，試験記録を採取すること。

d） シナリオベース試験は，以下の各項目を評価すること。

1) シミュレータで当該モデルプラントの運転操作手順書を使用することができること。
2) シミュレーション対象パラメータの特徴的な応答が，マルファンクションに対するモデルプラントの実際の応答又は最適予測値と同じ方向であって，顕著な相違がないこと。
3) 同じ状況でモデルプラントが警報又は自動動作を行うような場合に，シミュレータが警報又は自動動作を行うこと。
4) 同じ状況でモデルプラントが警報又は自動動作を行わないような場合に，シミュレータが警報又は自動動作を行わないこと。

e） シナリオベース試験の評価結果は文書化し，以下の各項目を記載すること。

1) 初期状態，シナリオの説明，過渡状態を作り出すための起因事象。
2) シミュレータで当該モデルプラントの運転操作手順書を使用することができること。
3) シミュレータがモデルプラント応答を模擬できる，又は試験目的・訓練目的に適合していること。
4) チェックした主要パラメータの一覧及び同パラメータに予想外の変化がないこと。
5) 発生した主要警報と主要インターロックの一覧及びこれらがシナリオから予想されるものであること。
6) 予想外の警報発生やインターロック動作が生じないこと。

5.3 シミュレータの炉心性能（特性）試験

シミュレータの核及び熱水力モデルが，シミュレーション範囲内でモデルプラントの炉心応答又は設計解析結果を再現していることを確認するため，以下のシミュレータの炉心性能(特性)試験を実施する。

a） シミュレータの炉心性能(特性)試験の実施とその評価に関する記録を維持すること。　【解説 1】

b） ソフトウェアの新規製作又はシミュレータ機能に影響を及ぼす可能性のある変更をした場合，並びに燃料装荷パターン変更，燃料濃縮度変更等の炉心性能に係るシミュレータの改造をした場合は，シミュレータの炉心性能(特性)試験を実施すること。

c） シミュレータの炉心性能(特性)試験は，モデルプラントの応答と比較し，モデルプラントの応答を模擬していること。なお，モデルプラントに先行してシミュレータの炉心性能(特性)の変更を実施した場合は，設計解析との比較により検証する。

6. シミュレータの維持管理

a） モデルプラントの発電用原子炉設置者は，シミュレータの維持管理に必要なモデルプラントの設備改造等の時期・仕様をシミュレータ訓練機関に情報提供すること。

b） シミュレータ訓練機関は，a)項の情報に基づき，運転実技試験及び更新のための教育・訓練を実施するために必要な，シミュレータ設備の改造等維持管理を実施すること。

c） シミュレータ所有者は，「4. シミュレータの要求事項」に規定された事項について確認する方法を，マニュアル類に規定すること。

d） シミュレータの維持管理には，以下を含むこと。

1) シミュレータの製作及び改造時の設計ベースラインを規定し，維持する方法
2) シミュレータとモデルプラントの相違と，その解消法を特定し，文書化する方法
3) シミュレータの試験と維持を支援するための文書

6.1 シミュレータの設計データ

a） シミュレータに関する設計のデータは，シミュレータの改造・変更に合わせて変更すること。

b） モデルプラントの発電用原子炉設置者は，シミュレータ訓練機関からの要請に基づき，シミュレータ維持管理に必要なモデルプラントの設計，性能（以下 c)1）から 3））に係る資料を提供すること。

c） シミュレータの維持管理に必要な資料。

1) モデルプラントの設計データ（ファンクショナルダイヤグラム，ブロック図，インターロック線図他）
2) モデルプラントの性能データ
3) モデルプラントの設計解析書
4) シミュレータの仕様書
5) シミュレータ取扱説明書

6.2 シミュレーション範囲の見直し

シミュレータ訓練機関は，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響がある場合は，シミュレーション範囲を見直しすること。

6.3 ソフトウェア及びハードウェアの維持管理

a） シミュレータ訓練機関は，シミュレータのソフトウェア及びハードウェアの維持管理を行うこと。

b） シミュレータのソフトウェア及びハードウェアは，「5. シミュレータの性能試験」で定める要求事項に適合していること。

原子力規制委員会

7. 参考文献

次に掲げる文献は，本規程において参照している規格，又は本規程の策定に際して参考としたものである。

・JEAG4802-2002 原子力発電所運転員の教育・訓練指針

・JEAC4804-201X 原子力発電所運転責任者の判定に係る規程

・ANSI/ANS-3.5-2009 Nuclear Power Plant Simulators for Use In Operator Training and Examination

・REGULATORY GUIDE 1.149 NUCLEAR PLANT SIMULATION FACILITIES FOR USE IN OPERATOR TRAINING, LICENSE EXAMINATIONS, AND APPLICANT EXPERIENCE REQUIRMENTS

・JIS Q 9001:2008 品質マネジメントシステムー要求事項

・JEAC 4111-2013 原子力安全のためのマネジメントシステム規程

公表資料

附 属 書

公表資料

附属書A
（参考）
シミュレータの設計及び性能試験を文書化する際のガイドライン

序文

この附属書は，シミュレータの設計及び性能試験について文書化することを目的としている。以下の各項は，シミュレータの文書に含まれる典型的な例について述べているものであって規定の一部ではない。

A.1 シミュレータ情報

A.1.1 シミュレータ

シミュレータ情報として，以下の項目を明記する。

a）シミュレータの名称

b）シミュレータの所有者，使用者，メーカー

c）モデルプラントの名称，種類，定格出力

d）シミュレータの使用開始日

A.1.2 シミュレータの中央制御室

シミュレータの中央制御室とモデルプラントの中央制御室の比較（顕著な相違の解決を含む）を明記する。

A.1.3 インストラクタコンソール

シミュレータ情報として，以下の項目を明記する。

a) 初期状態の一覧（その明細を含む）

b) マルファンクションの一覧（その範囲，原因及び直接的影響を含む）

c) 現場操作の一覧

d) シミュレーションの限界と，これら限界のいずれかを超えたときにインストラクタに通知する方法の説明の一覧

e) その他の機能の一覧

A.1.4 改造履歴

シミュレータの改造履歴を明記する。

A.2 シミュレータの設計データ

以下にシミュレータの設計データの例を示す。

A.2.1 シミュレーション範囲に関わるもの

・配管計装線図（P&ID），系統線図

・制御・論理系統図，インターロック線図

・計装・制御装置ブロック図

・単線結線図

原子力規制委員会 公表資料

・警報一覧
・プロセスコンピュータの機能一覧
・中央制御室の環境（通信システム，照明）
・制御盤の計装及び制御装置の一覧
・中央制御室の制御盤の配置

A.2.2 シミュレータの運転特性に関わるもの

・炉心性能データ
・起動，停止のデータ
・機器の運転特性
・制御設定値の一覧

A.2.3 シミュレータの性能試験に関わるもの

・起動試験データ
・過渡状態のデータ
・設置許可申請書
・運転操作手順書
・最適予測過渡状態のデータ

A.3 シミュレータ関連の文書管理

シミュレータ固有の文書を管理し，保管することが望ましい。関連文書の例を以下に示す。

・模擬範囲仕様書
・マルファンクション仕様書
・インストラクタ機能仕様書
・ソフトウェア仕様書
・ハードウェア仕様書
・シミュレータ試験関連の文書

A.4 シミュレータ試験関連の文書

シミュレータの性能基準とシミュレータの試験に関する文書には，以下の基本情報を記載することが望ましい。

a） 初期状態
b） 過渡状態を作り出すための起因事象（マルファンクション，現場操作，運転員の操作等）
c） シミュレータの関連パラメータの応答
d） 試験結果の妥当性確認

技術資料

附属書 B
（参考）
マルファンクションの例

序文

この附属書は，一般的なシミュレータのマルファンクションを例示するものであって，規定の一部ではない。

B.1 マルファンクションの選考

マルファンクションの選考は，以下を参考にする。

- 運転員知識及び技能カタログ
- 国内外事故・故障・トラブル情報
- 運転操作手順書
- 設置許可申請書
- 規制側からの訓練要求事項
- 従来からの訓練経験
- モデルプラント設備改造の情報（最新動向）

B.1.1 運転実技試験及び更新のための教育・訓練に用いるマルファンクションの例

1) 冷却材喪失
   - 蒸気発生器伝熱管の漏えい(PWR)
   - 格納容器内外の小規模，大規模な冷却材喪失事故
   - 安全弁の故障，逃がし弁の故障(PWR)
   - 逃がし安全弁の故障(BWR)
2) 計装用空気喪失
   系統全体又は隔離可能箇所の圧力が低下し，機器の動作に影響を与える計装用空気の喪失
3) 電源喪失
   - 外部電源喪失
   - 非常用電源喪失
   - 非常用発電機機能喪失
   - 所内電源喪失
   - 計測制御用電源喪失
4) 炉心冷却流量喪失
   単数又は複数のポンプ故障による炉心冷却流量の喪失
5) 復水器真空度低下
   復水器水位制御異常を含む
6) 海水系統故障
   個々の機器の冷却機能喪失を含む
7) 停止時冷却系故障
   余熱除去系(PWR)，又は残留熱除去系（BWR）の冷却機能喪失

原子力規制委員会 承認

8) 補機冷却水系統故障
個々の機器の冷却機能喪失を含む
9) 常用給水喪失又は常用給水系の故障
10) 全給水の喪失（常用と非常用を含む）
11) 保護系チャンネル故障
12) 制御棒の故障
固着・ドリフト・落下を含む
13) 制御棒駆動不能
14) 燃料被覆管破損による1次系冷却材や気体廃棄物中の放射能増加
15) タービントリップ
16) 発電機トリップ
17) 反応度と炉心の熱除去に影響を与える自動制御系の故障
18) 加圧器圧力と水位制御系の故障(PWR)
19) 原子炉スクラム（トリップ）
20) 格納容器内外での蒸気発生器の主蒸気管破断並びに給水管破断（PWR）
21) 核計装の故障
22) プロセス計装・警報・制御系統の故障
23) 工学的安全施設機器の動作不能
24) 原子炉スクラム（トリップ）失敗
25) タービンバイパス弁故障
26) 原子炉圧力制御系の故障（BWR），給水制御系の故障（BWR），再循環流量制御系の故障（BWR）
27) ECCS 誤起動
28) 系統負荷喪失
29) 給水加熱喪失

審査資料 公表資料

附属書 C
（参考）
シミュレータの動作試験の実施に関するガイドライン

序文

この附属書は，一般的なシミュレータの動作試験の範囲と目的を例示するものであって，規定の一部ではない。

C.1 動作試験の種類

定常状態と異常時の性能試験用に試験手順書を作成し，「5. シミュレータの性能試験」の条件に適合した判断基準を設定する。

なお，定期検査における訓練として，ミッドループ運転又は原子炉圧力容器上蓋の取り外し等，特殊な過渡変動応答を模擬する動作試験の際には，非連続的な方法として，計算モデルや初期状態を変更しても良い。

C.1.1 定常状態試験

この試験では，シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値を比較することにより，判断基準以内にあることを確認する。比較すべきパラメータを，C.2.1 及び C.3.1 に示す。

また，確認する出力と判断基準は，「4.3.1 定常状態」による。

C.1.2 異常時の性能試験

この試験では，C.2.2 又は C.3.2 に示されている事象を実施する。比較すべきパラメータを，C.2.2 及び C.3.2 に示す。

C.1.3 安全関連の機器又は系統のサーベイランス試験

安全関連の機器又は系統のサーベイランス試験手順書を作成し，「5. シミュレータの性能試験」の条件に適合した判断基準を設定する。

C.1.4 中央制御室外の監視・操作系統

シミュレーションの範囲には，中央制御室外から監視・操作する系統が含まれており，モデルプラントと同等の方法で，運転員が現場操作できることを確認するため，定常状態と異常時の性能試験用に試験手順書を作成し，「5. シミュレータの性能試験」の条件に適合した判断基準を設定する。

C.2 PWR シミュレータ動作試験要件

C.2.1 定常状態試験のパラメータ例

a) モデルプラントのパラメータにモデルプラントの計器レンジの 1%以内で一致【規定の再掲】
- 1 次冷却材平均温度(Tavg)
- 1 次冷却材高温側温度(Thot)
- 1 次冷却材低温側温度(Tcold)
- 原子炉熱出力

公表前

・出力領域中性子束
・加圧器圧力
・主蒸気圧力
・加圧器水位

b) モデルプラントのパラメータにモデルプラントの計器レンジの 2%以内で一致【規定の再掲】
・SG熱出力
・1 次冷却材圧力
・1 次冷却材流量
・主蒸気流量
・蒸気発生器給水流量
・蒸気発生器水位
・タービン第1段圧力(タービン第1段後圧力)
・発電機出力

c) モデルプラントのパラメータにモデルプラントの計器レンジの 10%以内で一致
・加圧器気相部温度
・加圧器液相部温度
・RCP 封水注入流量
・RCP 封水戻り流量
・主給水温度
・主給水圧力
・高圧ヒータ出口温度
・復水器真空度
・海水温度(復水器出口)

C.2.2 異常時の性能試験

C.2.2.1

異常時の性能試験は，以下の事象(例)について特に要求がない限り，運転員の操作を行わずに実行する。

a) 負荷喪失事象
b) 小破断LOCA
c) 2次系破断事象
d) 蒸気発生器細管破断事象
e) 炉心溶融事故事象

C.2.2.2

C.2.2.1「a)負荷喪失事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。
・出力領域平均中性子束
・制御棒　制御バンクD 位置
・1 次冷却材平均温度
・1 次冷却材基準温度

公表資料

・加圧器圧力
・加圧器水位
・発電機出力
・A-SG 圧力
・A-SG 狭域水位
・A-SG 給水流量
・A-SG 主蒸気流量

C.2.2.3

C.2.2.1「b) 小破断 LOCA」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。
・1 次冷却材圧力
・1 次系保有水量
・原子炉容器頂部水位
・炉心水位
・破断流量
・1 次系注入流量
・原子炉出口温度(最大値)
・A ループホットレグ温度
・A ループコールドレグ温度
・1 次系発熱量
・破断口除熱量
・2次系除熱量

C.2.2.4

C.2.2.1「c) 2次系破断事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。
・A-SG 圧力
・A-SG 広域水位
・A-SG 給水流量
・A-SG 主蒸気流量
・B-SG 圧力
・B-SG 広域水位
・B-SG 給水流量
・B-SG 主蒸気流量
・加圧器圧力
・加圧器水位
・A ループホットレグ温度
・A ループコールドレグ温度
・B ループホットレグ温度
・B ループコールドレグ温度
・A ループ1次冷却材流量

参考資料
公表前

・B ループ1次冷却材流量

C.2.2.5

C.2.2.1「d）蒸気発生器細管破断事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。

・1 次冷却材圧力
・加圧器水位
・A-SG 圧力
・A-SG 狭域水位
・A-SG 主蒸気流量
・B-SG 圧力
・B-SG 狭域水位
・B-SG 主蒸気流量
・1 次冷却材漏洩量
・1 次系注入量
・A ループホットレグ温度
・A ループコールドレグ温度
・B ループホットレグ温度
・B ループコールドレグ温度
・A ループ 1 次冷却材流量
・B ループ 1 次冷却材流量

C.2.2.6

C.2.2.1「e)炉心溶融事故事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。

・CV 内高レンジエリアモニタ
・CV 圧力
・CV 温度
・CV 水素濃度
・1 次冷却材圧力
・1 次系保有水量
・注水流量
・原子炉出口温度
・A ループホットレグ温度
・A ループコールドレグ温度
・B ループホットレグ温度
・B ループコールドレグ温度
・A-SG 広域水位
・B-SG 広域水位

C.3 BWR シミュレータ動作試験要件

C.3.1 定常状態試験のパラメータ例

参考資料 公表前

a) モデルプラントのパラメータにモデルプラントの計器レンジの 1%以内で一致【規定の再掲】

・原子炉熱出力
・原子炉圧力（狭帯域）
・原子炉圧力（広帯域）
・炉心流量

b) モデルプラントのパラメータにモデルプラントの計器レンジの 2%以内で一致【規定の再掲】

・平均出力領域モニタ（APRM）
・給水温度（給水加熱器最終段後）
・主蒸気流量
・再循環ループ流量
・給水流量
・タービン蒸気流量
・復水器真空度
・ジェットポンプ流量（校正値）
・原子炉水位（狭帯域）
・発電機出力

c) モデルプラントのパラメータにモデルプラントの計器レンジの 10%以内で一致

・CRD ポンプ出口温度
・CRD 系統流量
・CUW 入口流量
・CUW 非再生熱交出口温度
・主蒸気ヘッダ圧力
・原子炉水位（広帯域）
・ドライウェル圧力
・ドライウェル温度（最大値）
・サプレッションプール水温（最大値）
・サプレッションプール水位
・タービン排気室温度
・排気筒放射線モニタ

C.3.2 異常時の性能試験

C.3.2.1

異常時の性能試験は，以下の事象（例）について特に要求がない限り，運転員の操作を行わずに実行する。

a) 負荷遮断事象
b) MSIV 閉事象
c) 全給水喪失事象
d) 原子炉冷却材喪失事象
e) 炉心溶融事故事象

公示案

C.3.2.2

C.3.2.1「a) 負荷遮断事象」「b) MSIV 閉事象」「c) 全給水喪失事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。

・平均出力領域モニタ（APRM）
・主蒸気流量
・給水流量
・原子炉圧力
・原子炉水位
・タービン蒸気流量
・炉心流量

C.3.2.3

C.3.2.1「d）原子炉冷却材喪失事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。

・原子炉圧力
・原子炉水位
・ドライウェル圧力
・サプレッションプール圧力
・サプレッションプール水温

C.3.2.4

C.3.2.1「e）炉心溶融事故事象」を実行する際のパラメータ例を以下に示す。

・原子炉圧力
・原子炉水位
・格納容器内雰囲気モニタ
・注水流量
・RPV 下鏡温度
・ドライウェル圧力
・ドライウェル温度
・ドライウェル水素濃度
・サプレッションプール水温
・サプレッションプール水位
・R/Bγ線量
・R/B 水素濃度

C.4 モデルプラントでの発生事象に対するシミュレータ検証

a) モデルプラントで特定の事象が発生し，モデルプラント性能の関連データが得られた場合は，シミュレーション範囲内でモデルプラントの関連パラメータの応答を模擬できるのかを確認するため，以下のとおり事象後のシミュレータ検証を実施することが望ましい。

・事象のシーケンス，運転員の操作を検討し，モデルプラントの手順書に従って検証を行うこと。
・シミュレータが，シミュレーション範囲内でモデルプラントの関連パラメータの応答を確実に再現

公表資料

するのか確認のために，事象後シミュレータ検証を行い，関連データを比較すること。

b) モデルプラントでの発生事象に対するシミュレータ検証を実施する場合の事例を以下に示す。

・モデルプラントでの工学的安全施設の自動作動

・モデルプラントでの原子炉自動・手動トリップ又はスクラム

・モデルプラントでの予期しない，又は計画外の反応度変化

・モデルプラント並列後のタービン発電機自動・手動トリップ

公表資料

附属書 D
（参考）
シミュレータ定常状態の許容誤差計算値の例

序文

この附属書は，計器ループ精度を考慮した場合の判定値の計算例を示すものであって，規定の一部ではない。

シミュレータの計算値とモデルプラントの実測値を比較する場合は，本規程で定める許容誤差に，モデルプラントの計器ループ精度を加えたものを判定値とすることができる。この場合の計算例を以下に示す。

例 1

a) 1 次冷却系圧力 P1 を本規程の許容誤差が 1%以内でなければならないパラメータと仮定

b) モデルプラントの実測値 P1 は，15.42 MPa

c) モデルプラントの P1 の仕様

計器レンジ	11.30～17.20 MPa
計器スパン	5.90 MPa （=17.20 MPa－11.30 MPa）
設計計器ループ精度	0.5 %

d) 計器ループ精度を考慮した P1 の許容誤差

0.0885 MPa（=5.90MPa×（1% +0.5%））

ここで，

1%＝本規程 4. 3. 1.1 章の許容誤差

0.5%＝設計計器ループ精度

e) シミュレータの計算値 P1 に対する許容判定値

許容判定値上限	15.50 MPa（=15.42 MPa + 0.0885 MPa）
許容判定値下限	15.34 MPa（=15.42MPa - 0.0885 MPa）

例 2

a) 1 次冷却系の高温側配管温度 T1 は本規程の許容誤差が 1%以内でなければならないパラメータと仮定

b) モデルプラントの実測値 T1 は，表 D.1 参照

c) モデルプラントの T1 の仕様

計器レンジ	280～340 °C
計器スパン	60 °C（=340 °C - 280 °C）
設計計器ループ精度	0.5 %

d) 計器ループ精度を考慮した T1 の許容誤差

0.9 °C（=60 °C×（1% + 0.5%））

ここで，

1%＝本規程 4. 3. 1.1 章の許容誤差

0.5%＝設計計器ループ精度

e) シミュレータの計算値 T1 に対する許容判定値

表 D.1 に許容判定値下限と許容判定値上限を示す。

表 D.1 シミュレータ計算値の許容判定値

発電機出力	モデルプラントの実測値 (T1)	許容判定値下限 (=T1 - 0.9°C)	許容判定値上限 (=T1 + 0.9°C)
25%	299.9°C	299.0°C	300.8°C
50%	308.1°C	307.2°C	309.0°C
75%	315.5°C	314.6°C	316.4°C
100%	322.4°C	321.5°C	323.3°C

公表資料

附属書 E
（参考）
シミュレータの基本機能及び維持管理について

序文

この附属書は，シミュレータの基本的な機能及び維持管理の例を示すものであって，規定の一部ではない。

E.1 シミュレータの基本機能について

E.1.1 インストラクタコンソールの基本的な機能

a) インストラクタコンソールの基本機能

- シミュレーションを開始する機能 （ゴー 又は ラン ）
- シミュレーション計算を任意に一時停止する機能 （フリーズ）
- 初期状態にリセットする機能 （リセット又は IC セット）
- ある時点におけるプラント状態を一時的に保存しておく機能 （スナップショット）
- シミュレータのプラント状態をそれ以前に実行していた状態に戻す機能（バックトラック又はセットバック）
- シミュレータのモデルと制御盤間の入出力（I/O）データを変更する機能（オーバーライド又はオルタレーション）
- 外部環境条件の設定（例：海水温度）機能

b) インストラクタコンソールに含まれていることが望ましい基本機能

- シミュレータの動作内容を記憶する機能
- モデルの一部又は全範囲のシミュレーションを実時間に対して早くする機能 （ファースト）
- モデルの一部又は全範囲のシミュレーションを実時間に対して遅くする機能 （スロー）
- シミュレーションを再現する機能 （リプレイ）
- 運転員の対応状況が確認できる機能
- パラメータの監視とトレンド機能

c) データ収集機能には，必要十分なパラメータ数を収集でき，パラメータごとに適切な時間分解能を有すること。

d) 制御盤のオーバーライド等により異常事象を実行した場合，モデルプラントに現れる徴候以外で異常事象を実行したことが，運転員に判るようになっていないこと。ただし，シミュレーション限界に達した時の通知や実時間以外のシミュレーションの場合を除く。

E.1.2 データ収集機能

a) シミュレータは，予め選択されたシミュレーションパラメータを電子的に記録し，さらにこれらのパラメータのデータをハードコピー形式で，図表か印刷されたプリントアウトの形で出力する機能を備えること。

b) シミュレータは，必要十分なパラメータ数を収集でき，パラメータごとに適切な時間分解能を有すること。

原子力規制委員会 承認

E.3 シミュレータの維持管理

E.3.1 設計ベースラインデータの活用

a) 設計ベースラインデータは，以下の情報源から得られ，シミュレータの忠実度を確保できるように，データの維持管理を行う。

- モデルプラントから直接収集したデータ
- エンジニアリング解析を通じて作成されたデータ
- モデルプラントと類似の発電所で収集したデータ
- 対象分野の専門家からのデータ
- その他

E.3.2 シミュレータの改造

a) シミュレータの改造の実施

モデルプラントの性能データの更新，国内外事故情報，シミュレータ性能試験等に基づき，運転実技試験及び更新のための教育・訓練に影響すると判断された場合は，当該改造を実施する。

なお，モデルプラントを改造する前にシミュレータの改造の必要があると判断した場合は，これを実施する。

公表資料

原子力発電所運転責任者の判定に係るシミュレータ規程
解　説

この解説は，本体及び附属書に規定・記載した事柄，並びにこれらに関連した事柄に関し，以下の事項などについて説明するもので，規定の一部ではない。

a） 規制要求と本規程との関係を明らかにする。
b） 関連する規格類との関係を明らかにする。
c） 規程の意図を明確にする。（具体的要求内容を補足する。）
d） 規程のより具体的な内容を例示する。
e） 規格検討にあたって議論となった内容を説明する。

制定・改正の主旨及び経緯

原子力発電所運転責任者実技試験に用いるシミュレータの要求事項は，「JEAG4802-2002 原子力発電所運転員の教育・訓練指針」の一部として規定された。

JEAG4802-2002 は，米国のシミュレータの規格である「ANSI/ANS-3.5-1998 Nuclear Power Plant Simulators for Use In Operator Training and Examination」を参考にするとともに，国内の訓練用シミュレータの実情を考慮して制定されたものであり，「①原子力発電所運転員の教育・訓練」，「②原子力発電所運転責任者の判定」及び「③シミュレータの仕様」について，包括的に規定したものである。JEAG4802-2002 は，制定から約 11 年が経過しており，その間国内のシミュレータは新たな知見を反映し，設計・開発が進められるとともに，米国のシミュレータ規格も ANSI/ANS-3.5-2009 として改訂された。

一方，JEAG4802-2002 のうち「②原子力発電所運転責任者の判定」に係る事項が，2008 年に「JEAC4804-2008 原子力発電所運転責任者の判定に係る規程」として，独立した規程として制定された。

JEAG4802-2002 のうち「③シミュレータの仕様」に係る事項については，JEAG4802-2002 制定以降 11 年の運用実績反映，福島第一原子力発電所事故を契機としたシビアアクシデント対応用シミュレータの要求事項の追加及び米国のシミュレータ規格 ANSI/ANS-3.5-2009 の最新情報反映等を実施し，このたび新たに独立した規程として，「JEAC4805-201X 原子力発電所運転責任者の判定に係るシミュレータ規程」を制定するものである。

1. 目的

解説なし。

2. 適用範囲

解説なし。

3. 用語の定義

解説なし。

公表案

4. シミュレータの要求事項

解説なし。

5. シミュレータの性能試験

【解説 1】

シミュレータの炉心性能(特性)試験の事例を以下に示す。

a) 臨界ほう素濃度(PWR)

b) 臨界判定試験(BWR)

c) 減速材温度係数(PWR)

d) 制御棒価値(PWR)

e) 出力分布(PWR) 等

6. シミュレータの維持管理

解説なし。

7. 参考文献

解説なし。

附属書 A

解説なし。

附属書 B

解説なし。

附属書 C

解説なし。

附属書 D

解説なし。

附属書 E

解説なし。

公衆審査